

SWU Engineering Journal (2012) 7(2), 25-35

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปีที่ 7 ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม – ธันวาคม พ.ศ.2555

การศึกษาอิทธิพลของตำแหน่งการติดตั้งเครื่องทำความร้อนต่อการกระจายอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งของรถเกี่ยวนาข้าวไทยประดิษฐ์ด้วยการคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหล

Study of Influence of Position of Heater Installation on Temperature Distribution inside Dryer Chamber of Thai Made Rice Combine Harvester using Computational Fluid Dynamics

ประชา บุญวนิชกุล ไพศาล นาผล

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ อ.องครักษ์ จ.นครนายก 26210

E-mail: prachabu@swu.ac.th

บทคัดย่อ

ผลของการติดตั้งเครื่องทำความร้อนที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในถังพักข้าวได้ถูกศึกษาและเปรียบเทียบรูปแบบการกระจายอุณหภูมิด้วยโปรแกรมคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหล ที่ระดับความเร็วลมที่ทางเข้า 2.5 m/s และอุณหภูมิอากาศเข้า 40°C โดยกำหนดให้เครื่องทำความร้อนมีอุณหภูมิคงที่ 70°C เมื่อเปรียบเทียบการกระจายอุณหภูมิในถังพักข้าวที่ระนาบตัดขวางตรงบริเวณกึ่งกลางถึงพักข้าว ระนาบกึ่งกลางช่องทางเข้าด้านซ้าย และระนาบกึ่งกลางช่องทางเข้าด้านขวา พบว่าในทุกระนาบการติดตั้งเครื่องทำความร้อนที่ตำแหน่งผังกึ่งกลางตรงข้ามทางเข้า ให้ลักษณะการกระจายอุณหภูมิที่ดีที่สุด เนื่องจากทำให้พื้นที่หน้าตัดของถังพักข้าวถูกครอบคลุมด้วยระดับอุณหภูมิที่สูงกว่าระดับอุณหภูมิอากาศเข้าเป็นพื้นที่ที่มากที่สุด และจากการเปรียบเทียบผลการคำนวณกับค่าจริงที่ได้จากการวัดจากเครื่องต้นแบบ พบว่าการกระจายอุณหภูมิจากการคำนวณมีค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 8.3%

คำสำคัญ: การคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหล การกระจายอุณหภูมิ ระบบอบแห้ง รถเกี่ยวนาข้าวไทยประดิษฐ์

ABSTRACT

Influence of positions of heater installation inside the grain bin underneath thresher drum is studied and compared using computational fluid dynamics program. Temperature distribution within dryer chamber studied at 2.5 m/s and 40°C inlet air velocity and temperature while heater temperature is set at 70°C. Comparison of temperature distribution on cross-sectional plane through a half of longitudinal of dryer chamber, a half of left-hand side air inlet and a half of right-hand side of air inlet shown that the most appropriate position of heater installation is the position opposite the air inlet due to the largest covered area of higher temperature than the other position of heater installation. Comparison between the Computational Fluid Dynamics calculation results and the experimental results measured from the dryer system prototype shown that the average error of temperature distribution is about 8.3%.

Keyword: Computational Fluid Dynamics, Temperature Distribution, Dryer System, Thai-Made Rice Combine Harvester

1. บทนำ

การลดความชื้นข้าวเปลือกเป็นขั้นตอนสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพผลผลิต สำหรับข้าวเปลือกที่สุกแก่พร้อมเก็บเกี่ยวจะมีความชื้นโดยประมาณอยู่ที่ 28-35% db. ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์สูง และข้าวเปลือกที่เก็บเกี่ยวไม่สามารถคงคุณภาพไว้ได้นานนัก [1] โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลผลิตข้าวนาปรังที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน ที่สภาพอากาศโดยทั่วไปมีความชื้นสูงผลผลิตที่ได้เก็บรักษาได้ไม่เกิน 3 วันโดยไม่เกิดความเสียหายต่อคุณภาพข้าวเปลือก เป็นปัญหาสำคัญของเกษตรกรผู้ปลูกข้าว ที่ต้องจำหน่ายข้าวเปลือกทันทีที่เก็บเกี่ยว ถึงแม้ว่าผลผลิตมีความชื้นสูง และราคาที่ได้ต่ำกว่าที่ควรจะเป็น อย่างไรก็ตามหากสามารถลดความชื้นข้าวได้ในขณะทำการเก็บเกี่ยว ผลผลิตข้าวเปลือกก็จะสามารถทำการขายได้ในราคาประกัน และสามารถเก็บรักษาไว้ได้อีกระยะหนึ่งโดยไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่อคุณภาพข้าว ดังนั้นการพัฒนาระบบอบแห้งต้นแบบ สำหรับลดความชื้นข้าวเปลือกที่สามารถทำงานไปพร้อมๆ กับการทำงานของรถเกี่ยวนาข้าวจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อช่วยลดเวลาและขั้นตอนในการผลิตข้าว

จากรายงานการวิจัยที่ผ่านมา ได้มีการพัฒนาเครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกมาอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน [2-5] และเครื่องจักรต้นแบบส่วนใหญ่ได้รับการพัฒนา และออกแบบ เพื่อใช้งานในลักษณะการทำงานแบบโดดเดี่ยว (Stand-alone machine) ซึ่งทำให้เครื่องลดความชื้นถูกมุ่งเน้นการพัฒนาเครื่องต้นแบบ สำหรับผู้ประกอบการโรงสีขนาดกลางและขนาดใหญ่ ซึ่งต้องการกำลังการผลิตสูง มีการติดตั้งประจำอยู่กับที่ และต้องการอุปกรณ์ประกอบจำนวนมาก ซึ่งทำให้เครื่องมีราคาแพง ต้องการพื้นที่ในการติดตั้ง และมีขั้นตอนการใช้งานที่ซับซ้อน ดังนั้นการใช้งานเครื่องอบแห้งเพื่อลดความชื้นในประเทศไทยจึงยังไม่เป็นที่แพร่หลาย มีการใช้งานเฉพาะในโรงสีขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ หรือลานตากข้าวที่ศักยภาพด้านเงินทุน และมีความพร้อมด้านพื้นที่ติดตั้งเท่านั้น

เนื่องจากระบบการผลิตข้าวในประเทศไทยที่ได้มีการ

เปลี่ยนมาใช้เครื่องจักรกลในกระบวนการต่างๆ เพื่อทดแทนแรงงานคน ที่ได้เคลื่อนย้ายไปทำงานในภาคอุตสาหกรรมมากขึ้น การเก็บเกี่ยวข้าวในปัจจุบันนี้จึงนิยมใช้รถเกี่ยวนาข้าวแทนการเก็บเกี่ยวด้วยแรงงานคน ในประเทศไทยมีการออกแบบ ประกอบ และผลิตรถเกี่ยวนาข้าวตั้งแต่ พ.ศ. 2530 โดยดัดแปลงมาจากรถเกี่ยวนาของต่างประเทศเพื่อให้เข้ากับสภาพการเก็บเกี่ยวในประเทศไทย [6-8] ผลการสำรวจการใช้งานรถเกี่ยวนาข้าวทั่วประเทศพบว่าในปี 2541 มีจำนวนกว่า 3,000 คัน และประสิทธิภาพในการทำงานของรถเกี่ยวนาข้าวที่ผลิตในประเทศไทยก็เป็นที่ยอมรับเป็นอย่างดีมาโดยตลอด [9] แต่ผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้ก็ยังมีปัญหาในด้านการเก็บรักษาและราคามาโดยตลอดเช่นกัน เนื่องจากยังไม่มีมีการพัฒนาระบบอบแห้งที่ทำงานในรถเกี่ยวนาข้าว ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งหมายที่จะพัฒนาเครื่องอบแห้งที่สามารถใช้งานร่วมกับรถเกี่ยวนาข้าวที่ผลิตในประเทศไทย

จากการพิจารณารถเกี่ยวนาข้าวไทยประดิษฐ์ พบว่าบริเวณที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการติดตั้งระบบอบแห้งโดยไม่จำเป็นต้องมีการดัดแปลงโครงสร้างของรถเกี่ยวนาข้าว และสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องคือบริเวณตำแหน่งของถังพักข้าวใต้ชุดลูกกวาด [10] อย่างไรก็ตามก่อนการติดตั้งเครื่องทำความร้อนในห้องอบแห้ง (ถังพักข้าวใต้ชุดลูกกวาด) จำเป็นต้องมีการศึกษาของอิทธิพลของตำแหน่งติดตั้งเครื่องทำความร้อนต่อการกระจายอุณหภูมิภายในห้องอบแห้ง ซึ่งสามารถทำได้โดยการคำนวณด้วยโปรแกรมคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหล ที่ได้แสดงให้เห็นในงานวิจัยที่ผ่านมาว่าสามารถประยุกต์ใช้โปรแกรมการคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหลเพื่อทำนายรูปร่างที่เหมาะสม รูปแบบและระยะเวลาการเคลื่อนที่ ของวัสดุภายในห้องอบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบไซโคลน [11-14]

ดังนั้นเพื่อประหยัดต้นทุน และเวลาในการทดสอบการติดตั้งกับระบบต้นแบบจริง ในงานวิจัยนี้จึงการทำนายลักษณะการไหลของอากาศภายในห้องอบแห้งเป้าหมายก่อนการสร้างเครื่องต้นแบบจริงโดยใช้โปรแกรมการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลเพื่อช่วยในการตัดสินใจ

ตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งเครื่องทำความร้อน และหลังจากนั้นจึงทำการพิสูจน์ทราบว่าการคำนวณนั้นเป็นที่ยอมรับหรือไม่โดยการเปรียบเทียบผลการกระจายอุณหภูมิกับผลการทดลองที่วัดจากเครื่องต้นแบบ

สำหรับรถเกี่ยวนาชนิดข้าวที่เลือกเป็นกรณีศึกษานี้ได้เลือกรถเกี่ยวนาชนิดข้าวที่ผลิตโดยอุสมัคการช่าง รุ่น อัมข้าว ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 รถเกี่ยวนาชนิดข้าว รุ่น อัมข้าว
(ผลิตและประกอบโดยอุสมัคการช่าง)



รูปที่ 2 ถังพักข้าวใต้ชุดลูกนวด

ตัวรถมีความกว้างรวมมีดตัด 3 m. ลูกนวดเป็นแบบ Spike-tooth Type Axial Flow ขนาด 1.83 x 0.5 m. ใช้เครื่องยนต์ขนาด 230 Hp เป็นต้นกำลัง ตัวรถโดยรวม กว้าง 2.5 m. ยาว 5.9 m. สูง 3 m. ระบบขับเคลื่อนเป็นแบบล้อตีนตะขาบไม่หน้ากว้าง 90 x

350 m. โดยมีระบบถ่ายทอดกำลังสำหรับล้อไถ และระบบขับเคลื่อน เป็นไฮโดรลิคส์ ในขณะที่ส่วนอื่นๆ ส่งกำลังผ่านระบบสายพานตัว V สำหรับถังพักข้าวใต้ชุดลูกนวดซึ่งเป็นบริเวณที่เลือกสำหรับติดตั้งระบบต้นแบบสำหรับอบแห้งนั้น แสดงดังรูปที่ 2

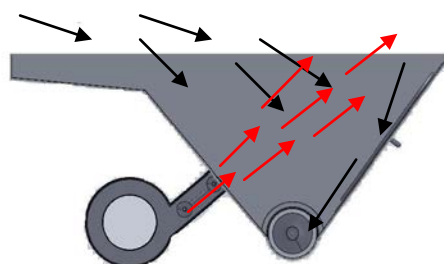
2. การจำลองการไหลและการกระจายอุณหภูมิด้วย CFD

2.1 รูปแบบและหลักการทำงานของระบบอบแห้ง

แผนผังการทำงานของระบบอบแห้ง แสดงดังรูปที่ 3 ระบบอบแห้งนี้เป็นเครื่องอบแห้งแบบเมล็ดพืชไหลขวางกัน (Cross Flow Dryer) [15] โดยทิศทางการไหลเข้าไหลออกของเมล็ดข้าวเปลือก และอากาศร้อนแสดงดังรูปที่ 3 เมล็ดข้าวเปลือกไหลลงสู่ที่ต่ำ โดยแรงโน้มถ่วง ในขณะที่อากาศร้อนจะไหลผ่านเมล็ดข้าวเปลือกทางด้านข้าง

ระบบเริ่มทำงานโดยการป้อนเมล็ดข้าวที่ผ่านการคั่วเมล็ดข้าวไหลมากองอยู่บนตะแกรงแล้วค่อยๆ ร่วงหล่นตามรูตะแกรงเรื่อยๆ ตามทิศทางการโน้มถ่วงของโลก ซึ่งจังหวะนี้มีลมจากพัดลมที่ผ่านการเพิ่มอุณหภูมิจากเครื่องทำความร้อน (Heater) ซึ่งติดตั้งอยู่บริเวณด้านทางออกของพัดลม พัดผ่านข้าวเปลือก ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่เมล็ดข้าวเปลือก และเกิดการระเหยของน้ำออกจากเมล็ดสู่อากาศร้อน ทำให้เมล็ดพืชมีความชื้นลดลง อากาศมีความชื้นเพิ่มขึ้นและอุณหภูมิลดลง

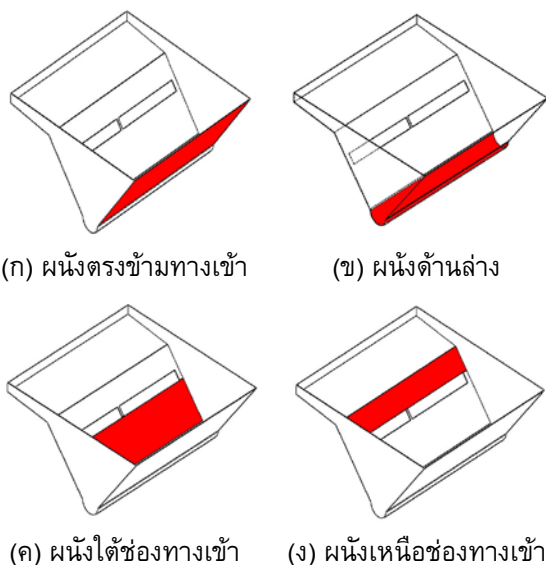
ทิศทางการไหลของข้าวเปลือก ทิศทางการไหลของอากาศร้อน



รูปที่ 3 หลักการทำงานของระบบอบแห้งต้นแบบ

อย่างไรก็ตาม ลมร้อนที่ได้จากการเป่าอากาศผ่านเครื่องทำความร้อนบริเวณทางออกของพัดลมอาจไม่พอเพียงเนื่องจากระยะเวลาในการสัมผัสอากาศร้อนเป็นแค่ช่วงเวลาสั้นๆ ดังนั้นจึงต้องทำการติดตั้งเครื่องทำความร้อนแบบแผ่นสัมผัส บริเวณผนังด้านใดด้านหนึ่งของห้องอบแห้ง เพื่อช่วยเพิ่มขีดความสามารถในการระเหยน้ำของระบบอบแห้งให้มากขึ้น แต่การติดตั้งเครื่องทำความร้อนแบบแผ่นสัมผัสสามารถติดตั้งได้ 4 จุดดังแสดงในรูปที่ 4 (แสดงดังตำแหน่งแรเงาสีแดง)

เพื่อช่วยตัดสินใจว่าการติดตั้งเครื่องทำความร้อนแบบสัมผัสที่จุดใดมีความเหมาะสม อาจทำได้โดยการคำนวณ ด้วยโปรแกรมการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics) เพื่อเปรียบเทียบการกระจายอุณหภูมิ ภายในห้องอบแห้ง ในกรณีติดตั้งเครื่องทำความร้อน ที่ตำแหน่งต่างๆ ทั้งสี่ ก่อนการสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับวัดค่าเพื่อทดสอบ และเปรียบเทียบความแม่นยำในการคำนวณ

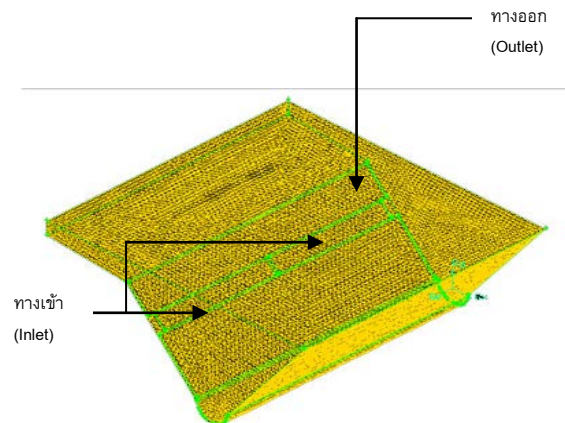


รูปที่ 4 จุดที่สามารถติดตั้งเครื่องทำความร้อนในถังพักข้าวได้ชุดลูกทวน (แสดงดังตำแหน่งแรเงาสีแดง)

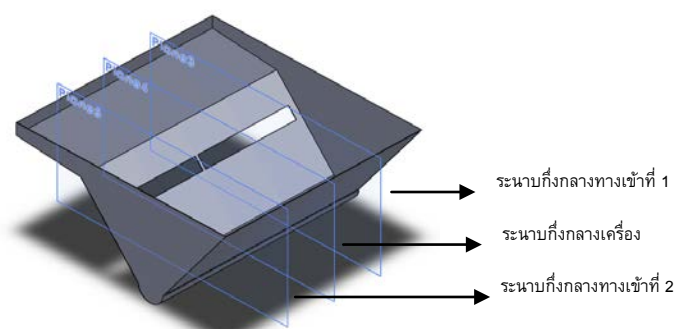
2.2 การกำหนดโดเมนและเงื่อนไขขอบเขต สำหรับการจำลองการไหล

การตรวจสอบการกระจายอุณหภูมิในกรณีติดตั้งเครื่องทำความร้อนแบบแผ่นสัมผัสที่บริเวณผนัง

สี่ด้าน เริ่มต้นจากการกำหนดโดเมนและขอบเขตสำหรับการคำนวณในลักษณะสามมิติ สำหรับการไหลของอากาศร้อนผ่านถังเก็บข้าวด้านล่างลูกทวนโดยแบ่งปริมาตรถังเก็บข้าวที่เป็นโดเมนในการคำนวณออกเป็นปริมาตรย่อยแบบทรงเหลี่ยมสี่หน้า (Tetrahedral Mesh) ซึ่งจากการทดสอบการจำลองการไหลในเบื้องต้นพบว่าจำนวนปริมาตรย่อย 305,763 อีลิเมนต์ ดังแสดงในรูปที่ 5 เป็นจำนวนปริมาตรย่อยที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการคำนวณโดยสังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงของการกระจายความเร็วและอุณหภูมิที่มีค่าใกล้เคียงกันกับการแบ่งปริมาตรย่อยในระดับที่ละเอียดกว่านี้โดยประมาณสองเท่า แต่ใช้ระยะเวลาในการคำนวณที่น้อยกว่าเป็นอย่างมาก



รูปที่ 5 การแบ่งปริมาตรย่อยเพื่อจำลองการไหล



รูปที่ 6 ระนาบที่ใช้แสดงผลการจำลองการไหล

สำหรับเงื่อนไขขอบเขตของการจำลองการไหลของอากาศผ่านห้องอบแห้งที่บริเวณจุดต่างๆ ในรูปที่ 4 มีดังต่อไปนี้

- ทางเข้ากำหนดให้ มีความเร็วลม 2.5 m/s อุณหภูมิ 40°C

- ทางออกกำหนดให้ความดันเท่ากับความดันบรรยากาศ ($P_{atm} = 101.325 \text{ kPa}$)
- ผนังที่ติดตั้งเครื่องทำความร้อนแบบแผ่นสัมผัสมีอุณหภูมิ 70°C
- กำหนดให้อุณหภูมิบรรยากาศเท่ากับ 30°C
- ผนังด้านที่เหลือไม่มีการถ่ายเทความร้อนผ่าน

2.3 การเปรียบเทียบผลการจำลองการไหล

ผลการจำลองการไหลของอากาศ ภายในเครื่องอบแห้ง เพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งฮีตเตอร์ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ด้านบน จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับการกระจายอุณหภูมิของอากาศที่อยู่ภายในห้องอบแห้ง ในกรณีที่ติดตั้งเครื่องทำความร้อนที่ตำแหน่งต่างๆสี่ตำแหน่ง ด้วยการพล็อตลักษณะกระจายของอุณหภูมิ ในรูปแบบของเส้นชั้นระดับของอุณหภูมิ (Temperature Contour) บนระนาบที่ตัดผ่านถึงพักข้าวได้ลูกขนาดที่บริเวณระนาบแนวตัดขวางต่างๆ ที่ระยะกึ่งกลางของทางเข้าทั้งสอง และระนาบกึ่งกลางเครื่อง ในแนวขวางดังแสดงในรูปที่ 6

3. อิทธิพลของตำแหน่งติดตั้งเครื่องทำความร้อนต่อการกระจายของอุณหภูมิในห้องอบแห้ง

การกระจายอุณหภูมิภายในห้องอบแห้ง ที่ระนาบกึ่งกลาง และระนาบกึ่งกลางช่องทางเข้าที่ 1 และ 2 ในกรณีที่ติดตั้งเครื่องทำความร้อนแบบแผ่นสัมผัสที่ผนังด้านตรงข้ามกับทางเข้า ผนังด้านล่าง ผนังใต้ทางเข้า และผนังเหนือทางเข้า แสดงดังรูปที่ 7 ถึงรูปที่ 9 ตามลำดับ

จากรูปที่ 7 แสดงการกระจายอุณหภูมิที่ระนาบกึ่งกลางเครื่อง ในกรณีที่ติดตั้งเครื่องทำความร้อนแบบแผ่นสัมผัสที่ตำแหน่งทั้งสี่ จากรูปที่ 7(ก) พบว่าการกระจายอุณหภูมิของการติดตั้งฮีตเตอร์ที่ตำแหน่งผนังด้านตรงข้ามกับทางเข้า มีการกระจายอุณหภูมิในระดับ 40°C เป็นบริเวณกว้างครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 80% ซึ่งมากกว่าการติดตั้งเครื่องทำความร้อนแบบแผ่นสัมผัสที่ตำแหน่งอื่นๆ

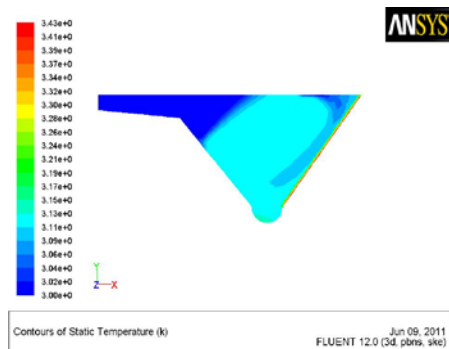
ในขณะที่การกระจายอุณหภูมิเมื่อติดตั้งเครื่องทำความร้อนแบบแผ่นสัมผัสที่ตำแหน่งผนังด้านล่างมีการกระจายอุณหภูมิในระดับ 40°C ครอบคลุมประมาณ 50% ของพื้นที่ ซึ่งจากการสังเกตการกระจายอุณหภูมิพบว่าอุณหภูมิระดับ 40°C ที่เห็นเป็นแนวการไหลของอากาศร้อนที่ไหลผ่านเครื่องทำความร้อนแบบครีปที่บริเวณทางเข้าของพัดลมเป็นส่วนใหญ่ ไม่ใช่ผลของการเพิ่มอุณหภูมิเนื่องจากเครื่องทำความร้อนแบบสัมผัสที่ติดตั้งเข้าไป โดยในรูปที่ 7(ข) จะเห็นแนวเส้นชั้นของอุณหภูมิที่ระดับ 40°C กระจายเป็นบริเวณเล็กน้อยที่บริเวณผนังด้านล่างที่ติดเครื่องทำความร้อนดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการติดตั้งเครื่องทำความร้อนแบบแผ่นสัมผัสที่ตำแหน่งดังกล่าวแทบจะไม่มีผลกระทบต่อกระจายอุณหภูมิของห้องอบแห้ง ซึ่งเป็นไปในแนวทางเดียวกันกับการติดตั้งเครื่องทำความร้อนแบบแผ่นสัมผัสที่บริเวณผนังด้านใต้ และเหนือทางเข้าของอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 7(ค) และ (ง)

รูปที่ 8 แสดงการกระจายอุณหภูมิที่ระนาบกึ่งกลางช่องทางเข้าที่ 1 ในกรณีที่ติดตั้งเครื่องทำความร้อนแบบแผ่นสัมผัสที่ตำแหน่งทั้งสี่ จากการเปรียบเทียบพบว่ากระจายอุณหภูมิของการติดตั้งที่ตำแหน่งผนังด้านตรงข้ามกับทางเข้า มีการกระจายอุณหภูมิในระดับ 40°C เป็นบริเวณกว้างเกือบครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดดังแสดงในรูปที่ 8 (ก) ในขณะที่การกระจายอุณหภูมิของการติดตั้งเครื่องทำความร้อนแบบแผ่นสัมผัสที่ผนังด้านล่างมีการกระจายอุณหภูมิในระดับ 40°C ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 50% ซึ่งใกล้เคียงกับการติดตั้งเครื่องทำความร้อนแบบแผ่นสัมผัสที่บริเวณผนังด้านเหนือ และใต้ทางเข้าของอากาศร้อน ดังนั้นการติดตั้งฮีตเตอร์ที่ตำแหน่งผนังด้านตรงข้ามทางเข้าทำให้เกิดการกระจายอุณหภูมิได้ครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้างที่สุด ในขณะที่การติดตั้งฮีตเตอร์ที่ตำแหน่งผนังด้านล่าง ด้านเหนือและใต้ทางเข้าของอากาศร้อนไม่มีผลต่อการกระจายอุณหภูมิ

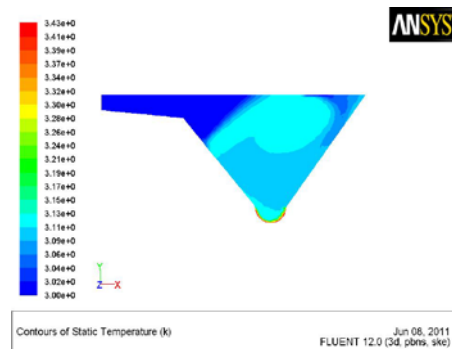
เช่นเดียวกันกับรูปแบบการกระจายอุณหภูมิเมื่อทำการติดตั้งเครื่องทำความร้อนแบบแผ่นสัมผัสที่บริเวณผนังทั้งสี่ด้านดังแสดงในรูปที่ 9 ที่แสดงการกระจายอุณหภูมิที่ระนาบกึ่งกลางช่องทางเข้าที่ 2 เมื่อ

ติดตั้งเครื่องทำความร้อนแบบแผ่นสัมผัสที่บริเวณผนัง
ด้านตรงข้ามทางเข้าอากาศ ผนังด้านล่าง และผนัง

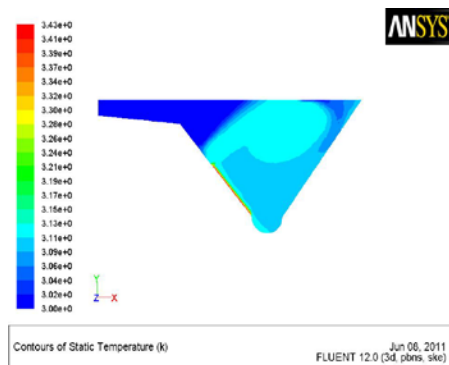
ด้านเหนือ และใต้ทางเข้าของอากาศ จากการเปรียบเทียบ



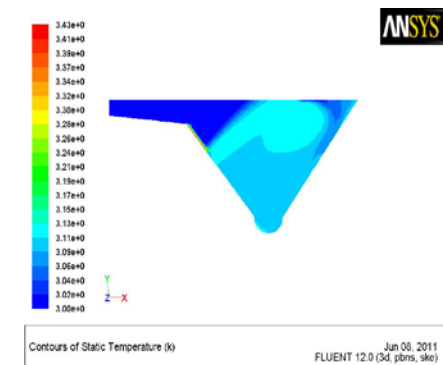
(ก) ผนังด้านตรงข้ามทางเข้า



(ข) ผนังด้านล่าง

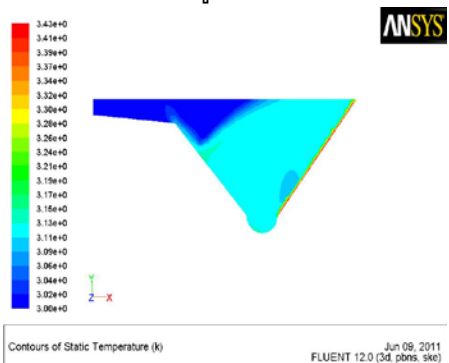


(ค) ผนังใต้ทางเข้า

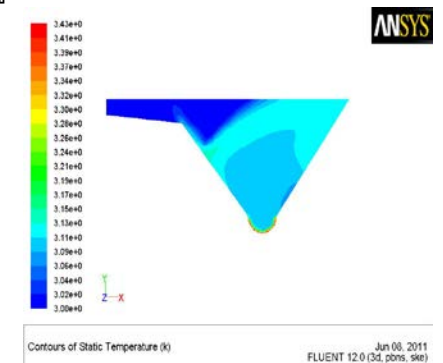


(ง) ผนังเหนือทางเข้า

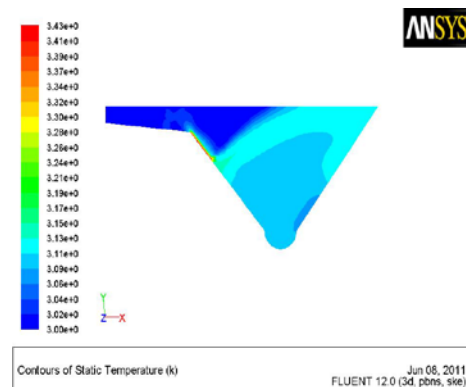
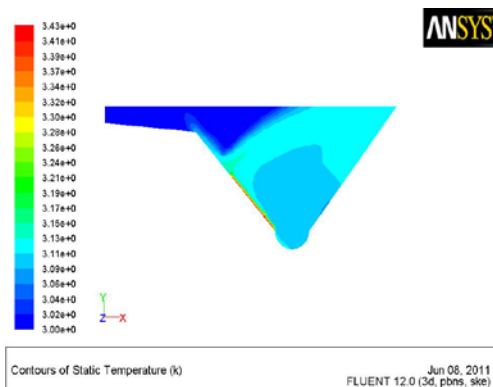
รูปที่ 7 เปรียบเทียบการกระจายอุณหภูมิที่ระนาบกึ่งกลางเครื่อง



(ก) ผนังด้านตรงข้ามทางเข้า



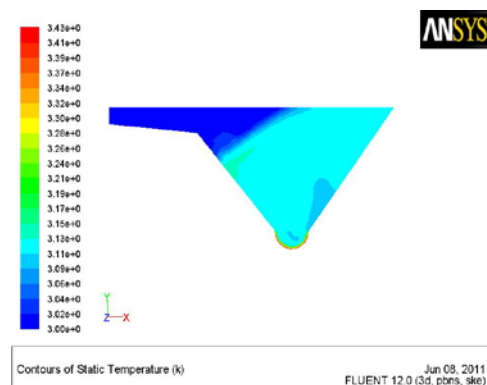
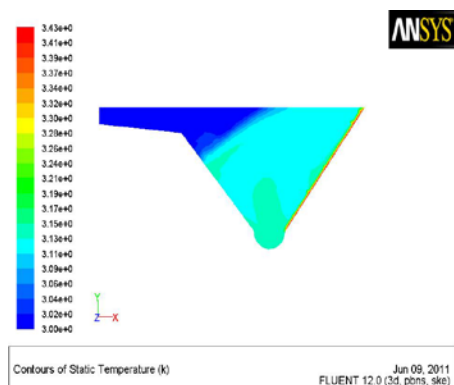
(ข) ผนังด้านล่าง



(ค) ผนังใต้ทางเข้า

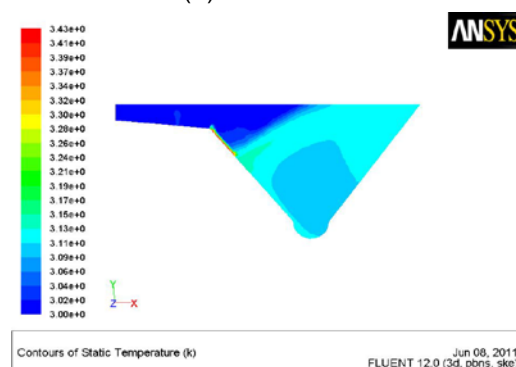
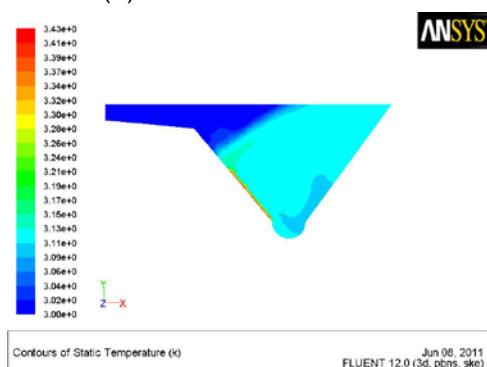
(ง) ผนังเหนือทางเข้า

รูปที่ 8 เปรียบเทียบการกระจายอุณหภูมิที่ระนาบกึ่งกลางทางเข้าที่ 1



(ก) ผนังด้านตรงข้ามทางเข้า

(ข) ผนังด้านล่าง



(ค) ผนังใต้ทางเข้า

(ง) ผนังเหนือทางเข้า

รูปที่ 9 เปรียบเทียบการกระจายอุณหภูมิที่ระนาบกึ่งกลางทางเข้าที่ 2

เทียบพบว่า การกระจายอุณหภูมิของการติดตั้งเครื่องทำความร้อนแบบแผ่นสัมผัสที่ตำแหน่งผนังด้านตรงข้ามกับทางเข้า มีการกระจายอุณหภูมิในระดับ 40°C เป็นบริเวณกว้าง เกือบครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด นอกจากนี้ยังมีการกระจายอุณหภูมิในระดับ 45°C ในบริเวณพื้นที่ที่เหลือ นั่นคือกระจายอยู่ที่บริเวณทางเข้า และบริเวณด้านล่างของระบบอบแห้ง ในขณะที่การติดตั้งฮีตเตอร์ที่ตำแหน่งผนังด้านล่าง มีการกระจายอุณหภูมิในระดับ 40°C เป็นบริเวณกว้าง ครอบคลุมพื้นที่เกือบทั้งหมดของระบบอบแห้ง และยังมีอุณหภูมิระดับ 45°C กระจายตัวเล็กน้อยที่บริเวณทางเข้า แต่ยังไม่สังเกตเห็นการกระจายอุณหภูมิที่ระดับต่ำกว่า 40°C กระจายอยู่บ้างที่ผนังฝั่งตรงข้ามด้านล่างของเครื่อง

สำหรับการติดตั้งเครื่องทำความร้อนแบบแผ่นสัมผัสที่ตำแหน่งผนังใต้ทางเข้า มีการกระจายอุณหภูมิในระดับ 40°C เป็นบริเวณกว้าง ครอบคลุมพื้นที่เกือบทั้งหมด และมีการกระจายอุณหภูมิที่ระดับ 45°C เล็กน้อย ที่บริเวณผนังใต้ทางเข้า และพบว่าการกระจายอุณหภูมิระดับต่ำกว่า 40°C เป็นพื้นที่ที่มากกว่าการติดตั้งเครื่องทำความร้อนที่ตำแหน่งผนังด้านล่าง ในขณะที่การติดตั้งเครื่องทำความร้อนแบบแผ่นสัมผัสที่ตำแหน่งผนังเหนือทางเข้า เป็นตำแหน่งที่มีผลกับการกระจายอุณหภูมิน้อยที่สุด พบว่าการกระจายอุณหภูมิในระดับ 40°C เป็นบริเวณน้อยกว่าการติดตั้งเครื่องทำความร้อนแบบแผ่นสัมผัสที่ตำแหน่งอื่นๆ และมีการกระจายอุณหภูมิในระดับต่ำกว่า 40°C เป็นบริเวณกว้างกว่าการติดตั้งเครื่องทำความร้อนแบบแผ่นสัมผัส

ที่ตำแหน่งอื่นๆ ทำให้สามารถประเมินได้ว่าการติดตั้งในตำแหน่งนี้ไม่มีผลต่อการกระจายอุณหภูมิ

จากผลการเปรียบเทียบการกระจายอุณหภูมิของอากาศในห้องอบแห้งที่ระนาบต่างๆ ดังแสดงรูปที่ 7 ถึงรูปที่ 9 พบว่าการกระจายอุณหภูมิของการติดตั้งเครื่องทำความร้อนแบบสัมผัสที่ตำแหน่งผนังด้านตรงข้ามกับทางเข้ามีผลต่อการกระจายอุณหภูมิของอากาศในห้องอบแห้งมากที่สุด เห็นได้จากเส้นชั้นแสดงระดับการกระจายของอุณหภูมิที่ระดับ 40°C ในกรณีติดตั้งเครื่องทำความร้อนแบบสัมผัสที่ครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้างกว่าการติดตั้งเครื่องทำความร้อนแบบสัมผัสในตำแหน่งอื่นๆ ซึ่งสังเกตได้ว่าการกระจายอุณหภูมิในระดับเดียวกันแต่ครอบคลุมพื้นที่น้อยกว่าอย่างเห็นได้ชัด

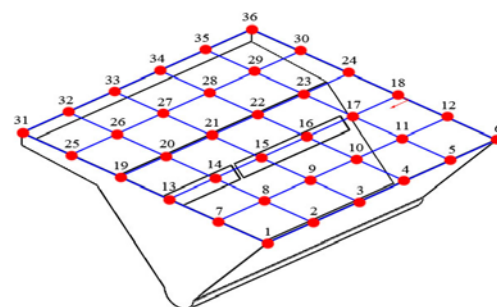
จากผลการจำลองข้างต้นสามารถเชื่อได้ว่าการติดตั้งเครื่องทำความร้อนแบบสัมผัสบริเวณผนังด้านตรงข้ามทางเข้ามีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากทำให้เกิดการกระจายอุณหภูมิในห้องอบแห้งเป็นบริเวณกว้างกว่า และเปิดโอกาสให้ข้าวเปลือกที่ไหลผ่านห้องอบแห้งสามารถสัมผัสกับอากาศร้อนเป็นระยะเวลายาวนานกว่า เป็นผลให้การอบแห้งข้าวเปลือกมีประสิทธิภาพดีกว่าการติดตั้งเครื่องทำความร้อนแบบแผ่นสัมผัสที่บริเวณผนังด้านอื่นๆ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าตำแหน่งที่เหมาะสมต่อการติดตั้งเครื่องทำความร้อนแบบแผ่นสัมผัสคือบริเวณผนังด้านตรงข้ามทางเข้าอากาศ

4. เปรียบเทียบผลการคำนวณด้วย CFD กับผลที่ได้จากการทดลอง

ในหัวข้อนี้ เป็นการตรวจสอบความแม่นยำของผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรมการคำนวณด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขสำหรับพลศาสตร์ของไหล ที่ใช้ในการหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งเครื่องทำความร้อนแบบแผ่นสัมผัสที่บริเวณถึงพักข้าวใต้ถุนกวอด โดยทำการเปรียบเทียบผลการคำนวณการกระจายอุณหภูมิที่บริเวณทางออกของถึงพักข้าวจำนวน 36 จุด กับค่าจริงจากการทดลองที่วัดได้จากการเดินเครื่องระบบต้นแบบสำหรับอบแห้งที่ได้

ออกแบบสร้าง โดยตำแหน่งที่ทำการวัดค่าการกระจายอุณหภูมิแสดงดังรูปที่ 10

สำหรับเครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้วัดการกระจายอุณหภูมิที่ทางออก ของระบบอบแห้งต้นแบบสำหรับติดตั้งบนรถเกี่ยวนาวดข้าวไทยประดิษฐ์ ประกอบไปด้วยถึงพักข้าวใต้ถุนกวอดพร้อมชุดพัดลม ติดตั้งเครื่องทำความร้อนแบบครีป ที่บริเวณทางออกพัดลม และ



รูปที่ 10 ตำแหน่งที่ทำการเปรียบเทียบค่าการกระจายอุณหภูมิจากการคำนวณและการวัดจากเครื่องต้นแบบ

เครื่องทำความร้อนแบบสัมผัส ที่ด้านตรงข้ามทางเข้าควบคุมและแสดงค่าอุณหภูมิที่เครื่องทำความร้อนผ่านชุด PID ค่าอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ทั้ง 36 จุดวัดโดยใช้เทอร์โมคัปเปิลแบบ K (รูปที่ 11) และส่งค่าอุณหภูมิไปบันทึกยังเครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) ยี่ห้อ Yokokawa รุ่น MW-100 (รูปที่ 12)



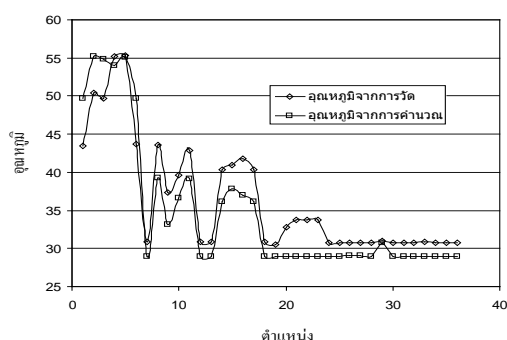
รูปที่ 11 เทอร์โมคัปเปิล แบบ K สำหรับการวัดการกระจายอุณหภูมิ



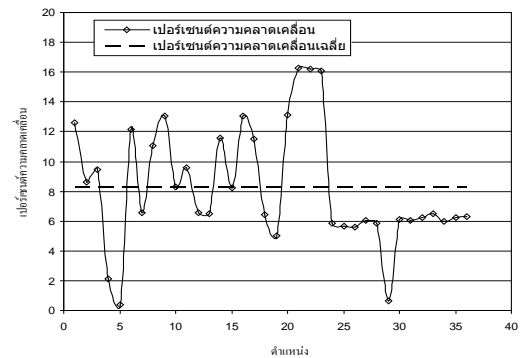
รูปที่ 12 เครื่องบันทึกข้อมูล Yokokawa MW-100

การทดสอบ เริ่มโดยการปรับตั้งค่าอุณหภูมิของเครื่องทำความร้อนแบบครีปและแบบแผ่นสัมผัส ไว้ที่ 40°C และ 70°C ตามลำดับ เมื่ออุณหภูมิของระบบต้นแบบเข้าสู่สภาวะคงตัวโดยประมาณ (15-20 นาที หลังเปิดเครื่อง) จากนั้นจึงทำการบันทึกข้อมูลที่จุดต่างๆ บริเวณทางออกทั้ง 36 จุด ดังรูปที่ 10 แล้วนำมาพล็อตกราฟเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม CFD ในหัวข้อ 3

เมื่อนำค่าอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ จากการคำนวณด้วยโปรแกรม CFD และค่าอุณหภูมิที่ได้จากการวัดที่ตำแหน่งต่างๆ ของระบบต้นแบบ มาพล็อตกราฟเปรียบเทียบกัน จะได้กราฟเปรียบเทียบการกระจายอุณหภูมิดังแสดงในรูปที่ 13 และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนดังแสดงในรูปที่ 14



รูปที่ 13 ค่าอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆที่ทางออกของระบบต้นแบบที่ได้จากการวัดและการคำนวณ



รูปที่ 14 เปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆที่ทางออกของระบบต้นแบบ

จากรูปที่ 14 แสดงให้เห็นว่าค่าอุณหภูมิที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม CFD ส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่าค่าอุณหภูมิที่วัดได้จากระบบต้นแบบ โดยมีระดับความคลาดเคลื่อนของค่าอุณหภูมิสูงสุด 16% ซึ่งเป็นค่าที่แสดงความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัด อาจเนื่องมาจากข้อจำกัดของแบบจำลอง CFD ในการคำนวณตรงบริเวณที่มีการเกิดกระแสหมุนวน ที่ด้านทางออกของ ซึ่งการแบ่งปริมาตรย่อยในการคำนวณสำหรับการไหลในบริเวณดังกล่าว อาจมีความละเอียดไม่มากเพียงพอกรอปกับข้อจำกัดทางด้านทรัพยากรการคำนวณทำให้ไม่สามารถคำนวณรายละเอียดการไหลในช่วงการไหลตรงบริเวณดังกล่าวได้ จึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนขึ้น

อย่างไรก็ดี ระดับความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยตลอดหน้าตัดของอุณหภูมิที่บริเวณทางออกอยู่ที่ระดับ 8.3% ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ อีกทั้งเมื่อพิจารณาการกระจายอุณหภูมิโดยภาพรวม จากรูปที่ 13 แล้วพบว่าแนวโน้มการกระจายค่าอุณหภูมิจากการคำนวณ และจากการวัด เป็นไปในทิศทางเดียวกัน

ดังนั้นจากผลการทดสอบดังกล่าว จึงทำให้เชื่อมั่นได้ว่าผลการคำนวณสามารถนำมาประกอบการตัดสินใจ ในการติดตั้งเครื่องทำความร้อนแบบแผ่นสัมผัส ที่ด้านตรงข้ามกับทางเข้าของอากาศ ซึ่งจากการคำนวณในหัวข้อที่ 3 แสดงให้เห็นว่าการติดตั้งเครื่องทำความร้อนแบบแผ่นสัมผัส ที่ผนังของถังเก็บข้าวได้ถูกวางตำแหน่งตรงข้ามทางเข้าของอากาศ ทำให้เกิดรูปแบบการกระจายอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งที่มี

ลักษณะการกระจายความร้อนเป็นไปอย่างทั่วถึง ซึ่งเป็นไปตามที่สรุปไว้ก่อนหน้านี้ในหัวข้อที่ 3 ส่งผลให้เมล็ดข้าวเปลือกสามารถสัมผัสกับอากาศร้อน เป็นช่วงระยะเวลาที่ยาวนานกว่า จึงทำให้เกิดการอบแห้งในอัตราที่มากกว่าด้วย

5. สรุปผล และข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยที่ได้ดำเนินการมาทั้งหมด สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. จากผลการคำนวณด้วยโปรแกรมคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหล พบว่าตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งเครื่องทำความร้อนสำหรับห้องอบแห้ง (ถึงพักข้าวได้ชุดลูกนวด) คือตำแหน่งตรงผนังบริเวณตรงข้างช่องทางเข้าของอากาศ ซึ่งทำให้เกิดการกระจายของอุณหภูมิในระดับที่สูงกว่าอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ทางเข้ากินพื้นที่เป็นบริเวณกว้างกว่า การติดตั้งเครื่องทำความร้อนที่ตำแหน่งที่เหลือทั้งสามตำแหน่ง

2. จากการตรวจสอบความถูกต้องในการทำนายการกระจายอุณหภูมิของแบบจำลองทางพลศาสตร์ของไหล พบว่าผลการกระจายอุณหภูมิจากการคำนวณส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่าผลที่ได้จากการวัดจากระบบอบแห้งต้นแบบ และมีค่าคลาดเคลื่อนสูงสุด 16% แต่ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ 8.3% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ อีกทั้งแนวโน้มการกระจายอุณหภูมิของการคำนวณและค่าที่วัดได้เป็นไปในทิศทางเดียวกันทำให้สามารถเชื่อมั่นในการใช้แบบจำลองดังกล่าวเพื่อออกแบบติดตั้งเครื่องทำความร้อนในห้องอบแห้งของระบบอบแห้งต้นแบบสำหรับติดตั้งบนรถเกี่ยวนวดข้าวไทยประดิษฐ์

3. เนื่องจากระบบต้นแบบที่ได้ออกแบบไว้เป็นเพียงการทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการ แต่ในสภาพการใช้งานจริงอาจมีปัจจัยอื่นที่มีผลต่อการทำงานของระบบได้ ดังนั้นจึงเสนอแนะให้มีการติดตั้งระบบดังกล่าวกับรถเกี่ยวนวดข้าวจริง และทำการทดสอบสมรรถนะการทำงานของรถเกี่ยวนวดข้าวที่มีการเปลี่ยนแปลงของระดับกำลังงานขับจากเครื่องยนต์ใน

ส่วนต่างๆ หรือไม่ เพื่อพิจารณาความเหมาะสมในการติดตั้ง และเมื่อผ่านการทดสอบจนแน่ใจแล้วว่าจะระบบดังกล่าวมิได้ก่อให้เกิดภาวะใดๆ สำหรับรถเกี่ยวนวดข้าวแล้ว ก็ต้องทำการทดสอบประสิทธิภาพในการอบแห้งข้าวเปลือกของระบบต้นแบบในขณะที่ยังเกี่ยวนวดทำการเก็บเกี่ยวข้าวในแปลงนาอีกด้วย

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการโดยได้รับทุนอุดหนุนจากโครงการวิจัยและนวัตกรรมเพื่อการถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนฐานราก เครือข่ายวิจัยเครือข่ายอุดมศึกษาภาคกลางตอนบน สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ผ่านสัญญาเลขที่ 007/2552 และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มศว ที่สนับสนุนซอฟต์แวร์ ANSYS สำหรับการคำนวณในการวิจัยนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Soponronnarit. "Paddy drying in Thailand". *AICAR Proceedings no.15: Preserving Grain Quality by Aeration and In-Store Drying*. Kuala Lumpur, Malaysia : pp.192-199, (1985).
- [2] S. Singhagajen. "Farm grain dryer - Thailand". *Food Drying, Proceeding of a workshop*. Edmonton, Alberta: pp.89-93, (1981).
- [3] S. Soponronnarit, S. Prachayawarakorn and O. Sripawatakul, "Development of cross-flow fluidized bed paddy drier," *Drying Technology*, vol. 14, pp.2397-2410, 1996.
- [4] S. Soponronnarit, S. Wetchacama, S. Trutassanawin and W. Jariyatontivait, "Design, testing and optimization of vibro-fluidized bed paddy drier," *Drying Technology*, vol. 19, pp.1891-1908, 2001.
- [5] S. Wetchacama, S. Soponronnarit, S. Swasdisevi, J. Panich-ing-orn and S.

- Suthicharoenpanich. "Drying of high moisture paddy by two-dimensional spouted bed technique". *Proceedings of the First Asian-Australian Drying Conference (ACD'99)*. Bali, Indonesia : pp.300-307, (1999).
- [6] S. Krishnaserin, P. Thongsawatwong, T. Kiatiwat and T. Nakoue. "Rice Combine Harvester Technology Development and Dissemination in Thailand". *14th ASEAN Seminar on Grain Post Harvest Technology*. 5-8 Nov., Manila, The Philippines. (1991).
- [7] S. Krishnaserine, "Development of Rice Harvesting and Threshing in Thailand," *Agricultural Engineering Division (AED), Department of Agricultural Ministry of Agricultural and Cooperative*, Bangkok, 1st Ed., 1981.
- [8] S. Krishnaserin and P. Thongsawatwong. "Utilization of Rice Combine Harvester in Thailand". *Proceeding of the International Agricultural Engineering Conference*. ,7-10 Dec. Bangkok, Thailand: pp.265-275, (1998).
- [9] R. Kalsirisilp and G. Singh, "Performance evaluation of a Thai-made rice combine harvester," *Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America.(AMA)*, vol. 30, pp. 63-69, 1999.
- [10] ประชา บุญยานิชกุล และไพศาล นามผล. *การออกแบบสร้างและทดสอบระบบอบแห้งสำหรับรถเกี่ยวนาข้าวไทยประดิษฐ์*. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. เครือข่ายวิจัยเครือข่ายอุดมศึกษาภาคกลางตอนบน, (2555).
- [11] M. A. Silva and S. A. Nebra, "Numerical simulation of drying in a cyclone," *Drying Technology*, vol. 15, pp.1731-1741, 1997.
- [12] M. A. Silva and S. A. Nebra, "Numerical calculations of gas-solid flow in a cyclone". *Drying'94*, 1-4 Aug. Gold Coast, Australia: pp.1319-1326, (1994).
- [13] Bunyawanichakul, P., Kirkpatrick, M.P., Sargison, J. E. and Walker, G. J. "Numerical and Experimental studies of the flow field in a cyclone dryer," *ASME Journal of Fluids Engineering*, vol. 28, pp.1240-1250, 2006.
- [14] Bunyawanichakul, P., Kirkpatrick, M.P., Sargison, J. E. and Walker, G.J. "A three-dimensional simulation of a cyclone dryer". *CFD2006 the 5th International Conference on Computational Fluid Dynamics in Industrial Processes*, 13-15 Dec. Melbourne, Australia: CD ROM, (2006).
- [15] สมชาติ โสภณธนฤทธิ์. การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, (2540).